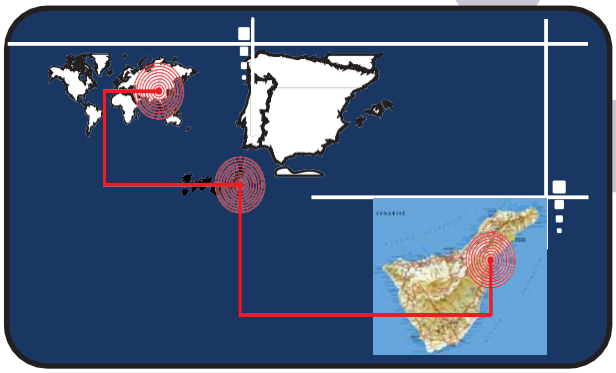
PROYECTO DE CENTRAL HIDRÁULICA REVERSIBLE CON AGUA DE MAR, ACOPLADA A UNA DESALADORA Y CON UNA GALERIA DE CAPTACIÓN DE AGUA EN EL ACUÍFERO, EN EL TÉRMINO MUNICIPAL DE CANDELARIA (ISLA DE TENERIFE)



Autores

Dr. David López Pérez

D. Alejandro Ortega Freire

Tutor - Director

Dr. Carlos Soler Liceras

D. Alberto Vázquez Figueroa

ÍNDICE

1. CONDICIONES GENERALES 1
1.1. RESUMEN 1
1.2. ANTECEDENTES 1
1.3. INTODUCCIÓN 1
2. OBJETO DEL PROYECTO 3
3. SITUACION DEL PROYECTO 4
4. EXPLICACIÓN DE LA SOLUCIÓN 4
5. DESCRIPCION DE LAS OBRA 6
6. PRODUCCIÓN DEL SISTEMA 13
7. PLAZO DE EJECUCION 13
8. RESUMEN DEL PRESUPUESTO 13
9. VIABILIDAD ECONOMICA 14
10. AGRADECIMIENTOS 14

PROYECTO DE CENTRAL HIDRÁULICA REVERSIBLE CON AGUA DE MAR, ACOPLADA A UNA DESALADORA Y CON UNA GALERIA DE CAPTACIÓN DE AGUA EN EL ACUÍFERO, EN EL TÉRMINO MUNICIPAL DE CANDELARIA (ISLA DE TENERIFE)

1. CONDICIONES GENERALES

1.1. RESUMEN

En el presente proyecto se define y se valora la implantación de una central hidráulica reversible con agua de mar asociada a una central térmica y a una central eólica, a la que se le acopla una desaladora por Presión Natural (sistema Hidráulico Combinado AVF ideado por D. Alberto Vázquez Figueroa) y en la que se aprovecha el tendido de tuberías en el interior de una galería en escalón, para que sea además un sistema de captación de aguas subterráneas a través de unos sondeos horizontales practicados en el fondo del tramo de galería inferior.

El proyecto se centra en el desarrollo completo de las obras que integran el embalse de regulación y la galería de la central reversible.

La desaladora, la central de bombeo/turbinado y el sistema eléctrico se bosquejan de forma detallada para determinar su incidencia sobre el conjunto del proyecto

1.2. ANTECEDENTES

Este documento se redactó como Proyecto Fin de Carrera para la obtención del título de Ingeniero Técnico de Obras Públicas, especialidad en Hidrología, de la Universidad de La Laguna, en la convocatoria de Diciembre de 2011.

Autores:

D. Alejandro Ortega Freire y Dr. David López Pérez.

Tutor/Director del proyecto:

Dr. Carlos Soler Liceras y D. Alberto Vázquez Figueroa.

1.3. INTODUCCIÓN

El agua y la energía han supuesto para el hombre, desde el principio de su existencia, dos factores fundamentales para su supervivencia y desarrollo, tanto social como económico. Ya desde la Antigüedad el hombre interpretó el fuego como uno de los elementos creadores de todas las cosas (tiempos presocráticos de la Grecia clásica) junto al agua, la tierra y el aire. De la transformación de estos cuatro elementos se derivaba cualquier manifestación de la materia. Esta idea de transformación energética es la que subyace desde siempre en todo el desarrollo tecnológico hasta nuestros días: la energía no se crea ni se destruye sino que se transforma.

La solución obvia del problema energético, despojado de inconvenientes derivados de intereses parciales o de limitaciones tecnológicas, es simplemente la de utilizar transformaciones energéticas que no tengan como consecuencia una modificación perjudicial del estado global del planeta. Desde este ideal es desde donde se tendría que construir un nuevo esquema energético y un nuevo horizonte que, por substitución paulatina, terminara por -desechar las energías consumidoras (en el sentido de transformaciones irreversibles) de grandes cantidades de recursos naturales.

Desgraciadamente, parece que la humanidad está destinada a reaccionar únicamente en estado de verdadera emergencia, hacia donde poco a poco parece que irremediablemente va dirigida.

La alternativa de energía "no modificadora" también ha sido conocida por el hombre desde la antigüedad. El viento ejercía un empuje mecánico sobre las superficies expandidas de las velas de sus embarcaciones haciendo que éstas deslizaran sobre la superficie de mares y ríos. El agua, ya desde los romanos, ejercía su acción mecánica sobre las palas de los molinos cuyos ejes hacían rotar, teniendo así una transformación de energía al servicio del hombre, con unas eficiencias muy altas.

Pero el agua como bien en sí mismo ha condicionado históricamente los asentamientos poblacionales y se ha desarrollado toda una tecnología para ir en su búsqueda. En Mesopotamia, situada entre los ríos Tigris y Éufrates, supieron encauzar los caudales variables de estos dos ríos que provocaban violentos desbordamientos, para aprovechar el agua para sus cultivos, incluso excavar pozos en sus cauces en épocas de estiaje cuando se secaban. Los persas, por ejemplo, perforaron toda una red de galerías, llamadas qanats, para suministrar agua a Babilonia y a sus jardines colgantes (una de las siete maravillas del mundo).

El binomio agua y energía, constituye un factor que caracteriza el desarrollo social y económico de un territorio. Si se plantea este binomio para un territorio limitado, aislado, con precipitaciones escasas y sin recursos energéticos convencionales, crea una dependencia energética total del exterior, como es el caso del archipiélago canario, y su análisis se vuelve una cuestión particular.

En cuanto a la energía, los aborígenes canarios vivían en una sociedad agrícola primitiva en donde empleaban como fuente energética el Sol, la madera y la propia fuerza humana. Con la introducción del cultivo de la caña de azúcar a finales del siglo XVIII, se empieza a utilizar la energía hidráulica para mover los ingenios. En esta época se introduce el carbón como fuente de combustible para la navegación y a principios del siglo XX el petróleo, que acabará siendo la fuente principal y casi única de energía en Canarias.

La electricidad llega a Canarias en 1893 al implantarse una turbina y un alternador en la isla de La Palma en un salto de agua en el barranco de El Río. Las siguientes poblaciones en tener alumbrado fueron La Orotava y Santa Cruz en la isla de Tenerife y Arucas y Las Palmas en Gran Canaria antes del cambio de siglo. En 1930 ya se había implantado el servicio público de suministro eléctrico en todas las islas.

Las energías eólicas y solar térmica se introdujeron en Canarias en la década de los años 70 mientras que la solar fotovoltaica fue en la década siguiente. Sin embargo, y hasta la actualidad siguen siendo las centrales térmicas la principal fuente de energía en las islas.

El caso del agua en Canarias es la historia de los padecimientos que han sufrido los canarios en su larga y afanosa búsqueda de este elemento. La característica común que se ha dado en todas las islas ha sido la escasez de precipitaciones para una densidad de población elevada en un territorio limitado y cuya economía ha estado históricamente ligada a dos sectores con altos consumos de agua, el turismo y la agricultura basada en cultivos como el plátano y la caña de azúcar.

Ya desde la época prehispánica, los bimbaches, en la isla de El Hierro desarrollaron verdaderas técnicas hidráulicas al no tener caudales continuos como en otras islas como Tenerife, La Gomera o La Palma, en donde los barrancos entonces corrían todo el año, o incluso en las islas más áridas como Fuerteventura o Lanzarote, en donde siempre se disponía de manantiales naturales en donde apagar la sed. En el caso de El Hierro usaban eres (laderas arcillosas) y guácimos (aberturas practicadas en los árboles) para recoger las aguas de escorrentía y de lluvia horizontal, técnicas que se fundieron en una sola dando lugar al Árbol Santo del Garoé, caído en 1615 a causa de un temporal, lo que llevó a los herreños a excavar dos pozos de 40 m de diámetro, el de Temijiraque y el de Sabinosa, sin lograr el agua deseada.

Con excepción de unos pocos pozos más excavados en La Laguna (Tenerife) o en cauces de barrancos en Gran Canaria, Fuerteventura y Lanzarote, los canarios se abastecían de los recursos de manantiales y escorrentías, hasta que a finales del siglo XVIII el cultivo de la caña de azúcar hizo aumentar considerablemente la demanda de agua y más aún con el cambio hacia el plátano por la competencia de caña azúcar con las islas caribeñas.

Es a mediados del siglo XIX cuando se empiezan a excavar galerías, en principio de corta longitud y emboquilladas cerca de nacientes. A principio del siglo XX se comienza a alargar la longitud de las perforaciones, desde pocos centenares de metros hasta longitudes del orden del kilómetro, siendo desde 1940 hasta 1960 su verdadero apogeo y en donde se excavan casi el 90% de las galerías actuales.

Más tarde, y de forma alternativa a las galerías (más prolijas en Tenerife y La Palma), se realiza otra obra hidráulica, el pozo (en mayor número en Gran Canaria y Fuerteventura); con dos diferencias significativas con respecto a la primera: se extrae de él sólo el agua que se necesita, y para ello hay que aplicar energía utilizando una bomba. Finalmente, existe una combinación de ambas obras: un pozo en cuya base se excava una galería de fondo. Esta técnica fue la empleada en el Pozo de Los Padrones en El Hierro, premio Agustín de Betancourt en 1997 a la mejor obra hidráulica.

En las últimas décadas la iniciativa pública apostó por las aguas superficiales creando toda una red de presas, sobre todo en La Gomera y Gran Canaria, pero con poco éxito debido a la escasez y discontinuidad de estas aguas y sobre todo al carácter permeable de estos terrenos volcánicos. La solución ha sido precisamente impermeabilizar el terreno con lámina delgada de PVC o polietileno dando lugar a las balsas.

Además de las aguas subterráneas y superficiales, todavía quedan dos técnicas alternativas empleadas en Canarias para la producción de agua aprovechable: la desalación y la reutilización. La primera, implantada en las islas más áridas como Gran Canaria y Fuerteventura ya desde los años 60, y la segunda, que hace posible reservar con una red separativa el agua potable exclusivamente para el consumo humano, destinándose la reutilizada para otros usos sin tantas exigencias de potabilidad como el riego.

La introducción de un sistema como el que se describe en este proyecto en un territorio tan aislado y limitado como el canario disminuiría la dependencia energética exterior del combustible fósil, permitiendo además la posibilidad de asociarle un Parque Eólico u otras energías renovables.

Con esto se daría un giro en las políticas energéticas hacia un contexto más sostenible con el medio ambiente y autosuficiente. Además, con este tipo de soluciones se está aumentando el horizonte de previsión energética y de recursos naturales, ya que se viven tiempos en los que la demanda energética experimenta un gran aumento debido al gran crecimiento demográfico, entre otros factores.

2. OBJETO DEL PROYECTO

El objeto del presente proyecto es el desarrollo de la parte hidráulica de una central hidráulica reversible con agua de mar, asociada a una central térmica, con una desaladora acoplada (sistema Hidráulico Combinado AVF), conectándose el conjunto mediante galería, la cual se prolonga para la captación de agua subterránea mediante la perforación de tres sondeos horizontales.

Con esta obra se busca cumplir con tres objetivos: obtener agua desalada para el abastecimiento urbano del municipio de Santa Cruz de Tenerife, cubrir la necesidad energética de la isla de Tenerife debida al incremento de la demanda de potencia eléctrica y captar agua subterránea para complementar el abastecimiento de otro municipio como el de Candelaria o Güimar.

Los aumentos que proporcionaría este sistema respecto de las demandas actuales de la isla serían de un 10% en agua y de un 25% en potencia eléctrica.

3. SITUACION DEL PROYECTO

La ubicación de la central está planteada en el municipio de Candelaria, isla de Tenerife, en el núcleo poblacional de Las Caletillas, en la pared nororiental del Valle de Güimar, lindando con el municipio de El Rosario. Se ha escogido este emplazamiento cumpliendo con tres premisas: tener una fuerte pendiente que nos otorgue un elevado salto (unos 870 m) en una distancia relativamente corta en planta (3 km), estar en zona costera y estar cerca de las actuales líneas de distribución eléctrica

El emplazamiento del edificio de la central de bombeo y turbinado está proyectado al lado de la Central Térmica de UNELCO en Caletillas, en la cota del mar.

Se trata, en su conjunto, de una obra lineal en la que se unen tres instalaciones mediante la perforación del terreno con una galería en forma de escalón. Estas tres instalaciones son: una central de bombeo y turbinado en la cota +5,80 y junto a la Central Térmica de Candelaria; una planta desaladora en la cota +165,00; y un embalse acumulador de agua con su altura máxima de lámina de agua en la +870,00 aproximadamente.

4. EXPLICACIÓN DE LA SOLUCIÓN

La central proyectada realiza el turbinado de un caudal de agua de mar de 16,5 m^3/s proporcionando una potencia de unos 120 MW mediante la instalación de seis turbinas Pelton. Todo esto sin tener que aumentar la producción eléctrica de la isla con la implantación de más centrales térmicas y sin implantar otras energías consumistas de combustibles fósiles como el gas natural. Este sistema plantea aprovechar la energía sobrante de las horas valle que da la central térmica y, de forma complementaria, energías renovables como la de un Parque Eólico (la entrada de estas energías renovables será un aspecto fundamental a la hora de hacer viable la instalación), para bombear agua de mar hasta un depósito en altura y turbinar gran parte de los volúmenes almacenados, un 94%, en las horas punta. El 6% restante se deriva hacia una instalación desaladora que por ósmosis inversa y debido a la carga hidrostática de la columna de agua acumulada, obtendría agua desalada con prácticamente nulo coste energético.

IMAGEN 01: PLANO DE SITUACIÓN

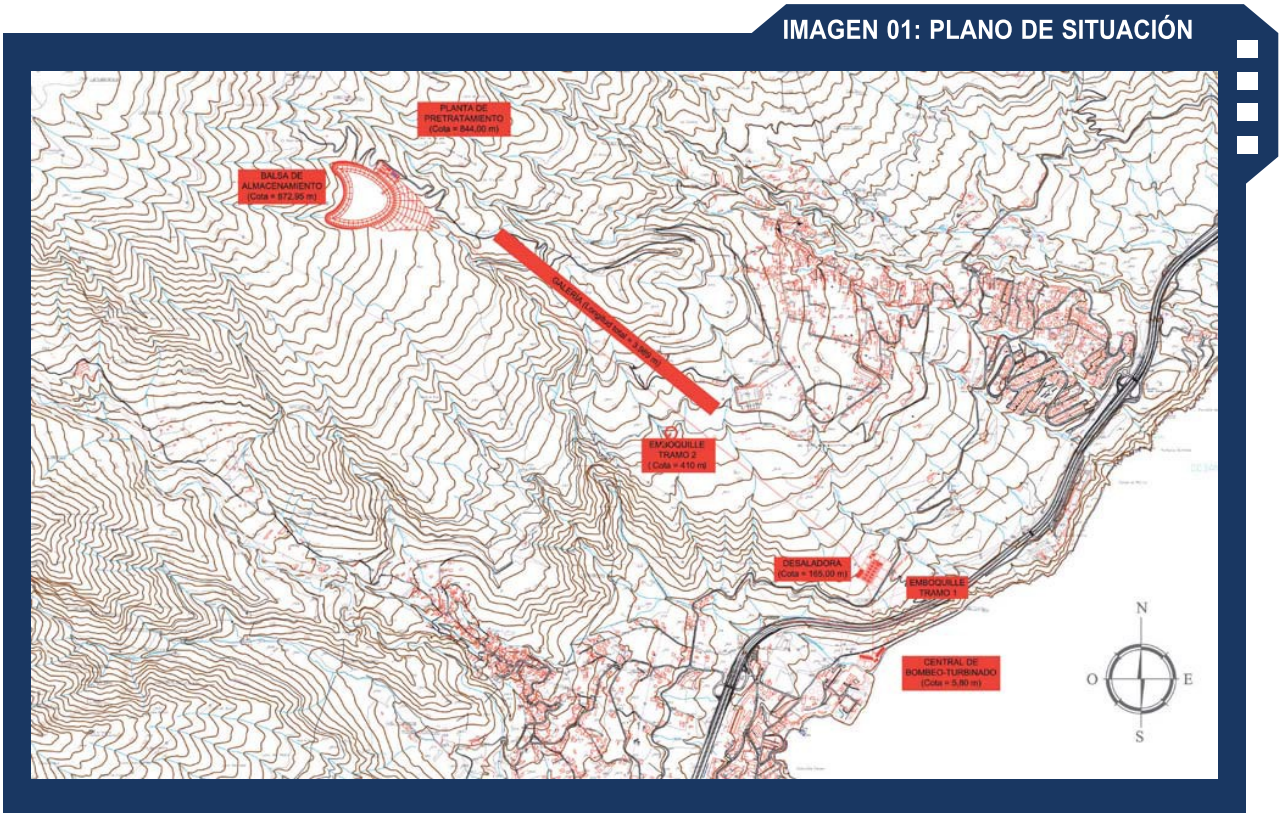
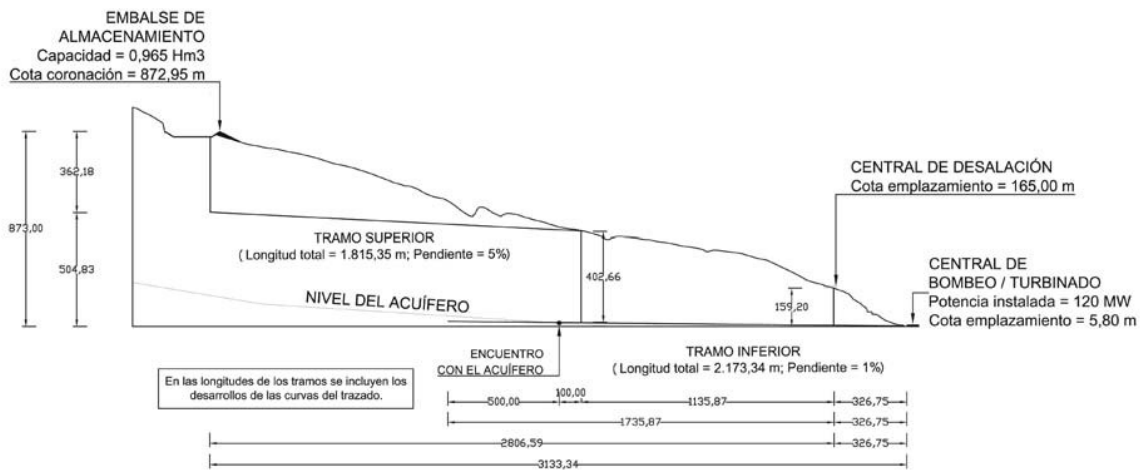


IMAGEN 02: PERFIL DEL TERRENO



Con esta instalación se consigue mediante el turbinado del agua acumulada en altura cubrir las necesidades eléctricas de la isla de Tenerife además de colocar en la red eléctrica un sistema capaz de absorber la energía reactiva de los aerogeneradores, en el caso de asociarle a la central un Parque Eólico, regular la producción eléctrica aplanando la curva de consumo e implantar una reserva energética insular.

La desaladora que lleva acoplada esta central utiliza el sistema AVF, que está basado en la acción de la presión natural, o presión hidroestática, que ejerce la columna de agua de los volúmenes acumulados en altura mediante bombeo. La capacidad del sistema asegura un caudal de agua desalada suficiente para cubrir la demanda de agua de la capital de la isla. Además, se consigue evitar la dependencia de combustibles fósiles que utilizan las desaladoras convencionales y sus vertidos de salmueras (rechazo del proceso desalador) sin dilución, ya que ésta se almacena para verterla al mar en los momentos en que se proceda a turbinar, siendo la mezcla de ambos volúmenes un efluente con una proporción de sal asumible, 41 g/l (en vez de los 72 g/l usuales en desaladoras convencionales), considerando esta salinidad similar a la que existe en el Mar Rojo o en el Mar de Cortés. El almacenar la salmuera ofrece la posibilidad de aprovecharla antes de su vertido para fines terapéuticos en un centro balneario, pudiendo tratarla para obtener distintos niveles de salinidad. Esta opción se plantea como un posible beneficio que tan sólo se deja indicado, pudiendo ser desarrollado convenientemente por expertos que ya han manifestado su interés. La cota de la instalación desaladora permite turbinar la salmuera antes de mezclarla con el agua de mar turbinada y verter la mezcla al mar. Esto es una forma complementaria de producción energética con la que se pueden alcanzar los 120 MW previstos en operación conjunta.

Por último, se aprovecha el tendido de tuberías en el interior de una galería en escalón para que sea además un sistema de captación de aguas subterráneas del acuífero a través de unos sondeos horizontales practicados en el fondo del tramo de galería inferior.

Las ventajas más importantes que ofrece el sistema proyectado son:

- Se adapta a las peculiaridades insulares del archipiélago en donde su orografía abrupta, en el caso de Tenerife, permite obtener los saltos hidráulicos necesarios en zonas costeras, como es el caso de la ubicación propuesta, que permite tener al mar como fuente inagotable del recurso utilizado.

- Se puede sustituir el embalse inferior de las reversibles convencionales por el océano, con la consiguiente disminución en el presupuesto de la obra, y la no ocupación de un recurso tan importante para las islas como es el litoral costero.
- El conjunto tiene un mínimo impacto ambiental, al ir todo el sistema oculto mediante un una galería y sondeos verticales, siendo el embalse superior construido con la técnica de balsas, la única instalación visible, obras éstas de las que la isla de Tenerife ya tiene bastantes ejemplos.
- Esta apuesta energética permitiría fijar el precio del m^3 de agua potable y del kw de potencia eléctrica a partir del balance económico de la planta. En cualquier caso, los precios resultantes serían muy bajos.
- Posibilita la entrada de las energías eólica y fotovoltaica al consumir la energía reactiva de estos sistemas.

5. DESCRIPCION DE LAS OBRA

La obra recorre desde la cota +5,00, prácticamente desde el mar, hasta la cota +872,95, en donde se prevé que se sitúe la vía de coronación del embalse, y se puede dividir en las siguientes partes:

- **Embalse superior** con vía de coronación en la cota +872,95 que queda definido como una balsa impermeabilizada mediante lámina delgada, con un sistema innovador de doble capa impermeabilizadora más doble capa de drenaje intercalada, que supone un método de doble control de fugas de agua al terreno. La altura de agua es de 20 m y su capacidad aproximada de 1 hm^3, para almacenar los volúmenes bombeados que serán necesarios para generar la energía hidroeléctrica en horas punta, o bien constituir una reserva energética ante un prolongado cero eólico (en el caso de asociar un parque eólico al sistema, como ya se ha mencionado).

TABLA 01: CARACTERISTICAS DEL EMBALSE

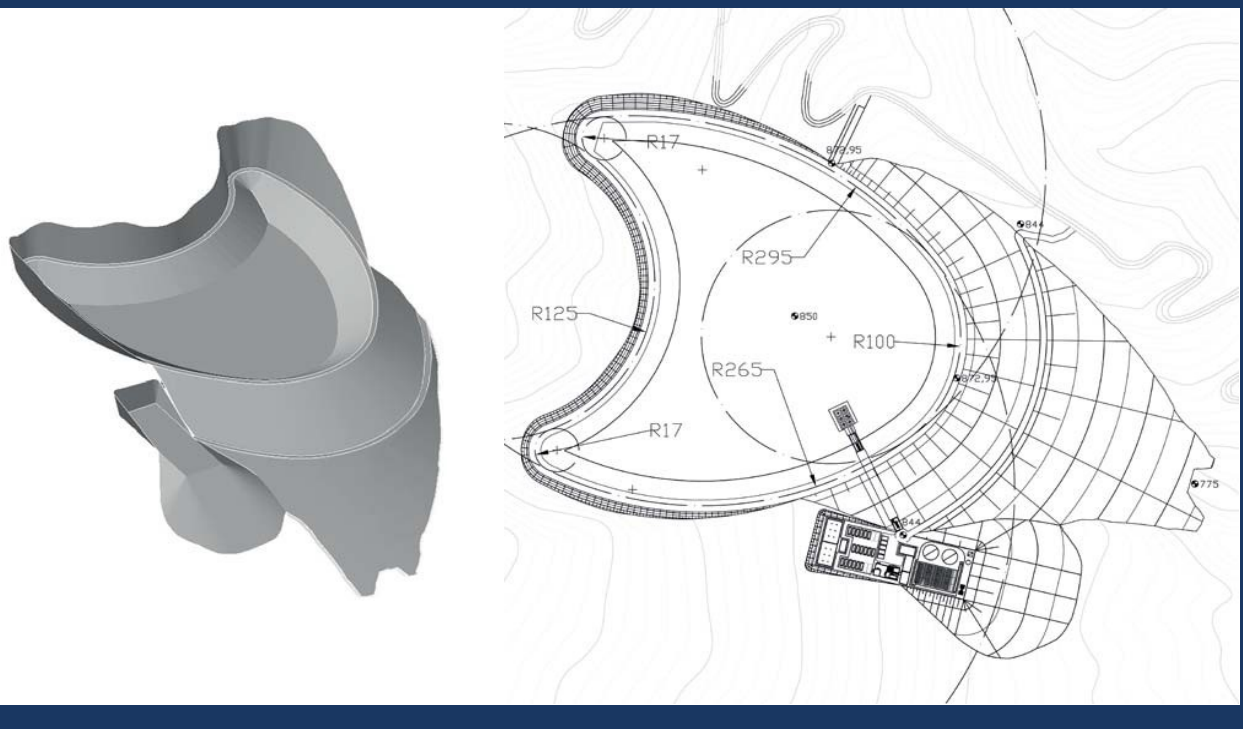
Capacidad	0,965 hm^3	
Superficie de agua a embalse lleno	62.648 m^2	
Taludes (horizontal:vertical)	Vaso	1,5:1
	Sobre coronación	1:5
	Dique de cierre	2:1
Tipología del dique de cierre	Todo uno con núcleo permeable, clasificada como gran presa de tipo A según el Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses (R.T.S.P.E.)	
Cota de coronación	+872,95 m	
Cota de fondo del vaso	+850,00 m	
Cota de la entrada de la galería de fondo	+844,00 m	

- **Planta de pretratamiento** de agua de desalación adosada en el lateral suroeste del dique de cierre del embalse, sobre una explanación de 4.800 m^2. A esta instalación llegará el agua destinada al proceso de desalación, que se conduce desde la balsa, y a través de su galería de fondo, por un conducto de acero de 0,7 m de diámetro. El agua tratada se devolverá a la galería de fondo por otra canalización semejante hasta encontrar uno de los sondeos verticales, por donde se conducirá hasta la instalación de desalación.

TABLA 02: CARACTERISTICAS DEL PRETRATAMIENTO

Superficie en planta	4.800 m^2
Caudal de entrada y salida	1 m^3/s
Capacidad del depósito de pretratamiento	2.160 m^3
Tiempo de almacenamiento	30 min

IMAGEN 03: EMBALSE Y PRETRATAMIENTO



- **Desaladora de ósmosis inversa** acoplada al embalse superior mediante tubería y a unos 700 m por debajo de éste, para obtener la presión hidroestática suficiente para el proceso de desalación, con lo que se evita el tener que usar bombas de forma continua. A ella llegará el agua de bombeo en horas valle con energía sobrante de la central térmica o de producciones eólicas, disminuyendo considerablemente los costes de producción. El caudal obtenido será de 450 l/s de agua desalada.

  Esta instalación cuenta con tres depósitos de salmuera capaces de almacenar la producción de un día que se estima en 27.720 m^3 (en las horas que no hay turbinado), con lo cual se dimensionan con capacidades de 5.400, 5.720 y 22.000 m^3, lo que hace una capacidad total de 33.120 m^3

IMAGEN 04: PLANTA DE LA DESALADORA

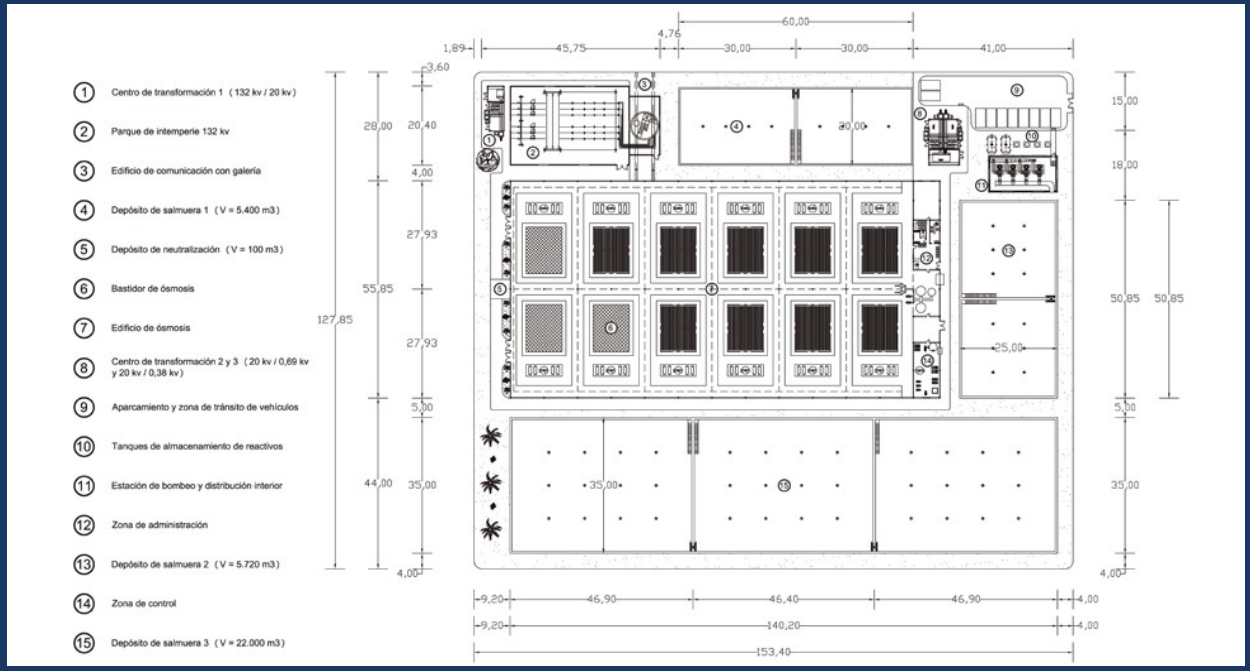


TABLA 03: CARACTERISTICAS DE LA DESALADORA

Superficie en planta	18.950 m^2
Caudal de entrada	1 m^3/s
Presión de desalación	65 atm
Porcentaje de rechazo	55 %
Porcentaje de producto	45 %
Capacidad del depósito de salmuera	29.440 m^3
Horas diarias de funcionamiento	24 horas
Caudal de agua desalada	0,45 m^3/s
Producción anual de agua desalada	12 hm^3

- **Conducción de acero del agua desalada**, desde la desaladora hasta el lugar de reparto y consumo que es el municipio de Santa Cruz de Tenerife. Esta conducción está planteada que discurra sobre el canal de Araya, que distribuye agua para el consumo humano a distintas zonas de los municipios de La Laguna, Santa Cruz de Tenerife, El Rosario y Candelaria. Esta conducción termina en un depósito de almacenamiento y una planta de tratamiento, aunque estos últimos dos elementos no son objeto de este proyecto.
- **Dos tramos de galería en escalón.** El primero de 1.563 m desde la cota inferior, emboquillada en donde se sitúa la central de bombeo y turbinado, hasta 100 m antes del contacto teórico del acuífero y que se prolonga hasta 500 m dentro de éste, con una pendiente del 1%, y un segundo tramo emboquillada a la cota +410,00 m hasta la vertical de la balsa de regulación con una longitud de unos 1.815,35 m y una pendiente del 5%.

- **Dos grupos de sondeos verticales** que comunican, el primero, los dos tramos de galería entre sí y el tramo inferior con la desaladora, y el segundo, el tramo superior de galería con la balsa. Se llevará a cabo la perforación de cinco sondeos para diámetro nominal de tubería de 1,1 m y uno de 0,7 m en el tramo superior, y de cinco y tres en el inferior, siendo los de 1,1 m los conductores del agua de bombeo y turbinado y los de 0,7 los encargados de trasportar el agua para desalación desde la balsa hacia la desaladora y la salmuera del proceso desde la desaladora hasta la central de turbinado. El tramo superior tiene una diferencia de cota de unos 362 m y en el inferior de unos 403 m en el grupo principal y de unos 159 m en la vertical de la desaladora.

TABLA 04: CARACTERISTICAS DE LA GALERIA

Longitud total excavada	Total	3.988,70 m	
	Tramo superior	1.815,35 m	
	Tramo inferior	2.173,34 m	
	Tramo de captación de agua	En seco	1.348 m
		Saturado	500 m
Pendiente por tramos	Superior	5 %	
	Inferior	1%	
P.K. de contacto teórico con el acuífero	1+766		
Producción de agua anual de la zona saturada	1,00 hm^3		
Cotas significativas	Emboquille superior	+410,00 m	
	Emboquille inferior	+5,80 m	
	Fin de tramo superior	+511,00 m	
	Fin de tramo de captación de agua	+28,55 m	

El tramo de galería inferior se prolonga más allá más allá del grupo principal de sondeos verticales, 100 m hasta el contacto teórico con el acuífero, según el Consejo Insular de Aguas de Tenerife (CIATfe), y 500 m dentro de él para la extracción de aguas subterráneas.

- **Tres sondeos horizontales** practicados al final del tramo de prolongación hacia el acuífero separados angularmente 45º, que se reúnen en un solo conducto de acero de 0,4 m de diámetro, que recorre este tramo hasta una arqueta en donde su caudal se añade al de una cuneta salida es otro conducto de 0,4 m de diámetro que termina embebido en el hormigón del tramo principal inferior de galería para salir al exterior.
- **Tendido de tuberías** para enlazar los distintos elementos del sistema. En los tramos de galería del recorrido principal, de bombeo-turbinado y desalación, habrá, en casi toda su longitud, un conducto principal de hormigón de 2,60 m de diámetro y un conducto secundario de acero de 0,7 m de diámetro para conducir el caudal del proceso desalador, embebido en hormigón ligeramente armado. Para el resto del trazado, es decir, galería de fondo de la balsa, sondeos verticales y encuentros entre éstos y la galería, se proponen cinco conductos de acero de 1,1 m de diámetro para bombeo y turbinado y uno de 0,7 m para el caudal de desalación. Para la transición entre estas dos disposiciones, es decir, la de cinco más un tubos de acero a dos embebidos en hormigón, se ha diseñado una pieza especial en la que se reúnen los cinco caudales de bombeo y turbinado en el conducto de 2,60 m diámetro y se conserva el de 0,7 m de diámetro de desalación. Esta pieza estará

embebida en hormigón y anclada al terreno, y se le ha estimado unas pérdidas de carga en base a fórmulas de estrechamientos y ensanchamientos de tuberías, con un factor bastante generoso de mayoración.

IMAGEN 05: GALERÍA

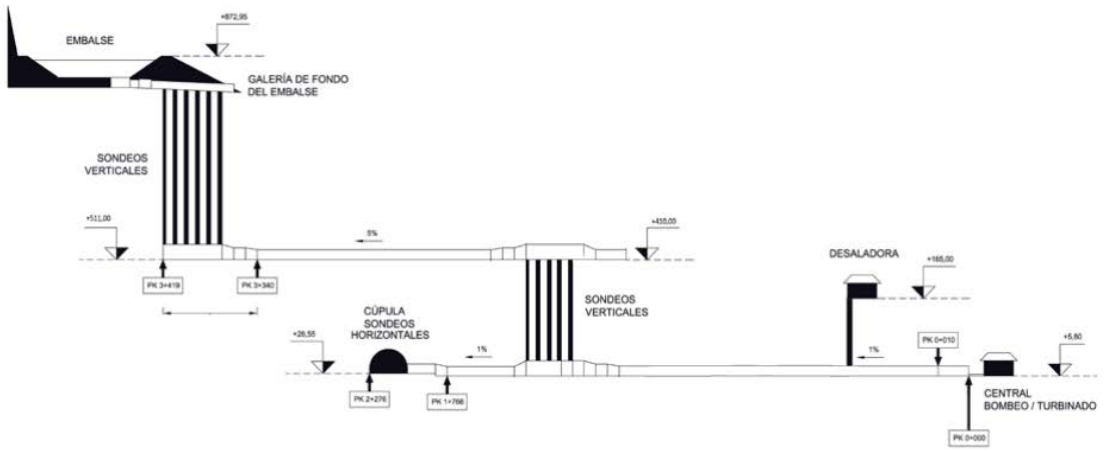


TABLA 05: CARACTERISTICAS SONDEOS VERTICALES

Profundidad por tramos	Superior	362,18 m
	Inferior	402,66 y 159,20 m
Sistema de sujeción de tubos	Hormigón inyectado	
Diámetro de perforación	Bombeo-turbinado	1.300 mm
	Desalación	900 mm
Diámetro de tubería	Bombeo-turbinado	1.100 mm
	Desalación	700 mm

TABLA 06: CARACT. SONDEOS HORIZONTALES

Número y disposición de los sondeos	1 en el eje de la galería y 2 a 45º
Longitud de cada sondeo	500 m
Caudal por sondeo	25 l/s
Producción de agua anual	2,37 hm^3
Diámetro nominal de cada sondeo	400 mm

- **Central de bombeo y turbinado de agua de mar** con una potencia instalada próxima a los 120 MW, en la que se sustituye el embalse de aguas abajo por el océano.

TABLA 07: CARACTERISTICAS DE LA CENTRAL

Superficie en planta	9.177 m^2	
Caudal de bombeo y turbinado	16,5 m^3/s	
Tipo y número de bombas	Primera etapa	5 bombas de flujo axial AFL 1203 de 3,33 m^3/s
	Segunda etapa	10 bombas centrífugas horizontales SULZER de 3,34 m^3/s, y una de 1,68 m^3/s
Potencia requerida por las bombas	163 MW	
Altura manométrica	917,67 m	
Tipo y número de turbinas	Agua de mar	5 turbinas PELTON de 25 MW ALSTOM de 4 inyectores,
	Salmuera	1 turbina PELTON de MW ALSTOM de 1 inyector
Potencia generada por la turbina	Agua de mar	117 MW
	Salmuera	1,75 MW
Salto útil de turbinado	Agua de mar	865 m
	Salmuera	165 m
Salto neto de turbinado	Agua de mar	812,38 m
	Salmuera	159,14 m
Producción energética anual	403,53 GWh	

- **El vertido del agua una vez turbinada** se realizará a través de cinco emisarios submarinos de 1.100 mm de diámetro cuatro de ellos y uno de 1.200 mm, de polietileno de alta densidad, que alcanzan una profundidad de 20 m con respecto al nivel medio del mar.

  Los caudales de turbinado y desalación se mezclan en la salida obteniéndose un vertido con una salinidad muy cercana a la del agua de mar (41 g/l) y teniendo en cuenta que, además, se produce a 20 m de profundidad, la dilución total de la salinidad se realizará en muy breve espacio.

  El funcionamiento general de la obra es el siguiente:

  En horas valle se bombea agua de mar, por las conducciones de la galería, hasta el embalse, con energía suministrada por la central térmica, con la posibilidad de tener también el suministro de un parque eólico acoplado. Durante las puntas, el agua desciende por esos mismos conductos hasta la estación de turbinado en donde se produce energía eléctrica.

Por el conducto de 0,7 m de diámetro, y durante todo el día, se conduce agua del embalse hasta la desaladora, en donde se aprovecha la columna de agua acumulada para ejercer la presión necesaria para actuar sobre las membranas, obteniendo agua desalada.

De los sondeos practicados al final de la prolongación del tramo inferior de galería, y de las paredes de este tramo al adentrarse en zona saturada, se obtiene agua subterránea del acuífero que se conducirá al exterior para su abastecimiento.

IMAGEN 06: SISTEMA B-T

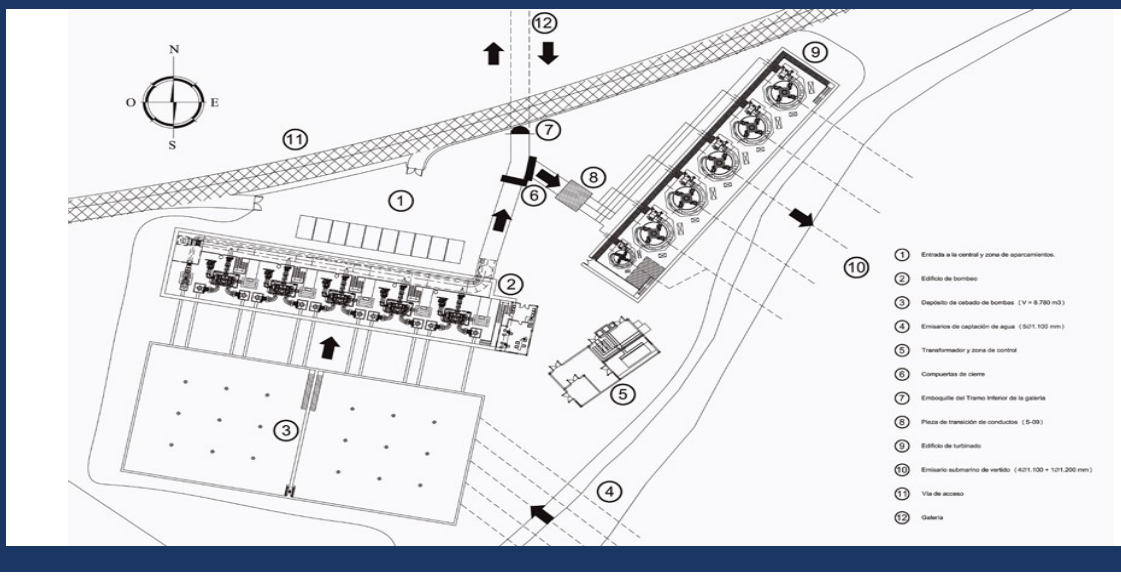
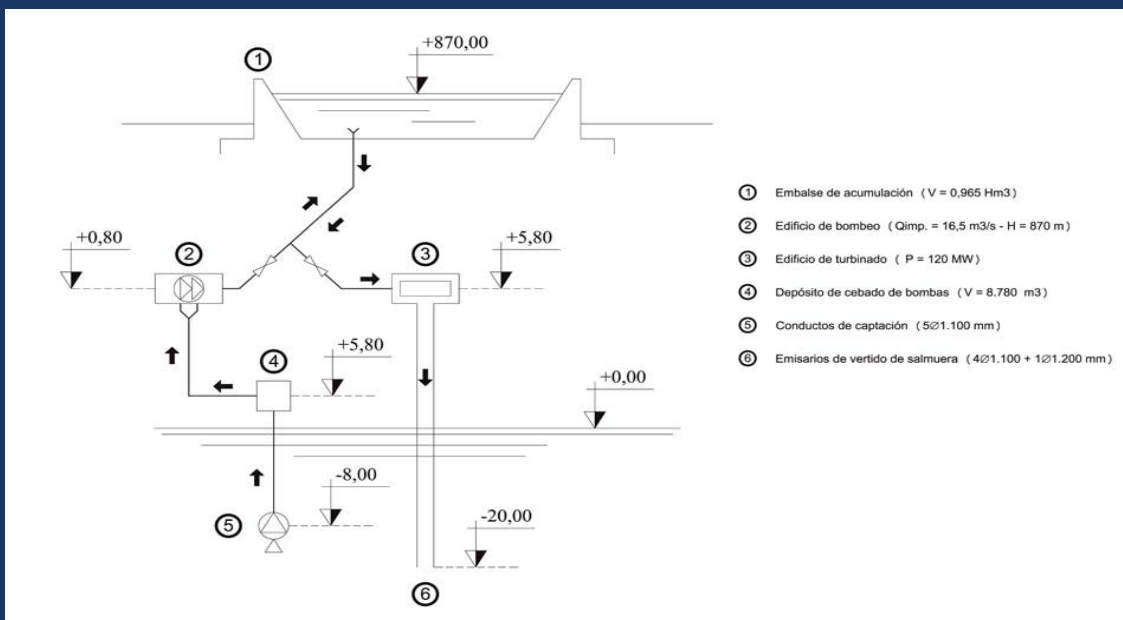


IMAGEN 07: FUNCIONAMIENTO DE LA CENTRAL B-T



6. PRODUCCIÓN DEL SISTEMA

Producción eléctrica: 120 MW

Producción de agua desalada: 450 l/s

Producción de agua subterránea: 75 l/s

7. PLAZO DE EJECUCION

Dada las características de la obra se ha considerado como plazo más conveniente para la correcta ejecución de las mismas el de CUARENTA Y OCHO (48) MESES

8. RESUMEN DEL PRESUPUESTO

El Presupuesto de Ejecución Material del presente proyecto asciende a la cantidad de CIENTO CINCUENTA Y SEIS MILLONES SETECIENTOS VEINTICINCO MIL TREINTA Y SEIS EUROS con CUARENTA Y SIETE CÉNTIMOS (156.725.036,47 €), que incrementada en el 23% de Gastos Generales y Beneficio Industrial, supone un Presupuesto de Ejecución por Contrata de CIENTO NOVENTA Y DOS MILLONES SETECIENTOS SETENTA Y UN MIL SETECIENTOS NOVENTA Y CUATRO EUROS con OCHENTA Y SEIS CÉNTIMOS (192.771.794,86 €)

TABLA 08: RESUMEN DEL PRESUPUESTO

CAPÍTULO	RESUMEN	IMPORTE [€]	%
Capítulo 1	Embalse regulador	16.715.002,26	10,67
Capítulo 2	Galería	8.051.793,77	5,14
Capítulo 3	Central de bombeo y turbinado	60.545.084,13	38,63
Capítulo 4	Planta de pretratamiento	9.850.831,29	6,29
Capítulo 5	Desaladora	23.581.365,14	15,05
Capítulo 6	Sondeos horizontales	100.295,52	0,06
Capítulo 7	Sondeos verticales	9.349.394,48	5,97
Capítulo 8	Red de transporte	27.890.102,14	17,80
Capítulo 9	Electricidad	336.540,52	0,21
Capítulo 10	Servicios afectados	150.000,00	0,10
Capítulo 11	Seguridad y Salud	152.975,93	0,10

TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL		156.725.036,47
17 % Gastos Generales	26.643.256,20	
6% Beneficio Industrial	9.403.502,19	
Suma de G.G y B.I.		36.046.758,39
TOTAL PRESUPUESTO CONTRATA		192.771.794,86
TOTAL PRESUPUESTO GENERAL		192.771.794,86

9. VIABILIDAD ECONOMICA

Los rendimientos anuales que daría una instalación como la proyectada hacen que sea rentable a largo plazo, dependiendo de dos factores fundamentales: fijar unas tarifas eléctricas en donde se estipule la diferencia entre el horario valle y punta de forma adecuada, y la entrada en el sistema de energías procedentes de fuentes renovables. Estas circunstancias imponen un consenso social y político para llevar a buen fin esta gran obra que es capaz de solucionar el problema energético insular, abaratando la producción y permitiendo la implantación de renovables hasta proporciones de potencia del 65 %".

Lo expuesto valdría para para cualquier central reversible, pero esta presenta una ventaja sobre ellas y es que produce agua desalada y subterránea a costes del 10 % del precio de mercado, suficiente en cantidad para abastecer desde Santa Cruz hasta Güímar. Este beneficio económico logra un ostensible descenso de los plazos de amortización hasta lograr recuperar el capital en menos de diez años.

10. AGRADECIMIENTOS

A Don Carlos Soler Liceras por haber apostado por nosotros en un proyecto de tal envergadura y por la estrecha amistad que de éste ha surgido.

A Don Alberto Vázquez Figueroa por el genio que ha dado lugar a la idea, deseando sinceramente que algún día podamos aspirar a la sostenibilidad energética de nuestras islas.

A Don José Manuel Díaz González por su apoyo en numerosas cuestiones técnicas y consejos en cuanto a cómo afrontar el proyecto.

A Don Luis Puga Miguel por su reiterada e incondicional ayuda en cualquier duda sobre este proyecto o cualquier otra cuestión y por su gran habilidad en la búsqueda de documentación.

Y a todas aquellas personas que en momentos puntuales nos han prestado su ayuda y nos han dado su apoyo.

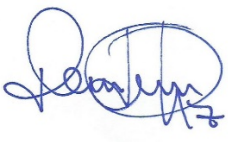
"La ingeniería descansa en tres principios: la belleza, la firmeza y la utilidad. La ingeniería se puede definir, entonces, como un equilibrio entre estos tres elementos, sin sobrepasar ninguno a los otros. No tendría sentido tratar de entender un trabajo de la ingeniería sin aceptar estos tres aspectos." Marco Vitruvio Polión

"La ingeniería descansa sobre tres pilares fundamentales: el ingenio, la honradez y el conocimiento."

Carlos Soler Liceras

En Santa Cruz de Tenerife, a 12 de abril de 2013

Dr. Carlos Soler Liceras
Tutor del proyecto



Dr. David López Pérez
Doctor en Física
Ingeniero técnico de obras públicas
Ingeniero proyectista del presente proyecto

D. Alejandro Ortega Freire
Arquitecto técnico
Ingeniero técnico de obras públicas
Ingeniero proyectista del presente proyecto